Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 14, No. 5, Dec- Jan 2019, p. 789-802

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 14، شماره 5، آذر- دی 1397، ص.802-789

سینتیک تخریب ویتامین C (L-آسکوربیک اسید) طی بلانچینگ خشک مادون قرمز و آبزدایی همزمان برش‌های سیب با روش حرارت‌دهی متناوب

حسن صباغی[1]- امان محمد ضیائی فر[2]- مهدی کاشانی‌نژاد[3]

تاریخ دریافت: 1396/09/07
تاریخ پذیرش: 1396/11/02

چکیده

L-آسکوربیک اسید (ویتامین C) مهم‌ترین ویتامین از نظر تغذیه‌ای است. پلی‌فنل‌های سیب بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را نشان می‌دهند و حفظ کیفیت تغذیه‌ای سیب در فرآوری حرارتی اهمیت دارد. عملیات همزمان بلانچینگ خشک مادون قرمز و آبزدایی (SIRDBD) با روش حرارت‌دهی متناوب فرآیندی نوین است که طی آن دما ثابت نگه داشته می‌شود. در این پژوهش، تاثیر دمای پرتودهی و ضخامت محصول روی نابودی پلی‌فنل اکسیداز (عامل قهوه‌ای شدن آنزیمی) و ویتامین C بررسی شد. بدین منظور، برش‌های سیب با ضخامت 5، 9 و 13 میلی‌متر و با قطر 20 میلی‌متر آماده شد. پرتودهی در سه دمای سطحی ثابت برابر با 70، 75، 80°C انجام گرفت. دمای مرکز محصول حین فرآوری ثبت شد. فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز (PPO) و محتوی آسکوربیک اسید به‌ترتیب با فاصله زمانی 2 و 30 دقیقه سنجیده شد. سینتیک تخریب ویتامین C مطالعه گردید. نتایج نشان داد که زمان غیرفعال‌سازی آنزیم در دمای 80°C به‌طور معنی‌داری کمتر است (P<0/05). در زمان کفایت بلانچینگ دمای مرکزی برای ضخامت 5، 9 و 13 میلی‌متر به‌ترتیب برابر با 64/4، 61/7 و 60/8°C بود. با افزایش دما یا ضخامت، ثابت سینتیکی (k) تخریب ویتامین به‌طور معنی‌داری زیاد شد (P<0/05). با افزایش ضخامت، وابستگی تخریب ویتامین به افزایش دما بیشتر بود (انرژی فعال‌سازی بیشتر). محتوی ویتامین C در ابتدای فرآیند در دماهای مختلف بسیار به‌هم نزدیک بود. بنابراین رویکرد دمای بالا و زمان کوتاه (HTST) طی مرحله بلانچینگ می‌تواند ضمن افزایش سرعت غیرفعال‌سازی آنزیمی، کیفیت تغذیه‌ای محصول را نیز حفظ نماید.

واژه‌های کلیدی: ویتامین C، سیب، بلانچینگ، مادون قرمز، پلی‌فنل‌اکسیداز

مقدمه

میوه‌ها نقش مهمی در رژیم غذایی انسان و تغذیه با توجه به رنگ، عطر، طعم و به‌ویژه ویتامین‌ها دارند (Timoumi *et al*., 2007). سیب به‌عنوان یک میوه پرمصرف در رژیم غذایی شناخته می‌شود. پلی‌فنل سیب در میان میوه‌ها و سبزیجات دیگر بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را با مهار رادیکال‌های آزاد دارد که این امر خطر ابتلا به سرطان را کاهش می‌دهد. بنابراین حفظ خصوصیات تغذیه‌ای سیب در فرآوری حرارتی اهمیت زیادی دارد (Vega-Gálvez *et al*., 2012؛ López *et al*., 2010؛ Desai & Park, 2005). ویتامین C به‌عنوان یک ترکیب فنلی مهمترین ویتامین از نظر تغذیه‌ای است که بدن انسان قادر به سنتز آن نیست و L-آسکوربیک اسید شکل فعال زیستی عمده آن می‌باشد (Hernández *et al*., 2006). این ویتامین بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی را دارد (Franke *et al*., 2004). میزان توصیه شده روزانه[4] (RDA) برای مصرف ویتامین C در بزرگسالان حدود 60 میلی‌گرم در روز است. یکی از مهمترین عوامل موثر در تغییرات کیفی میوه‌ها طی حرارت‌دهی و خشک‌کردن از دست رفتن ویتامین‌های محلول در آب (به‌طور عمده ویتامین C) است. مشخص شده است که طی خشک‌کردن 10 تا 50 درصد آسکوربیک اسید اتلاف می‌شود (Timoumi *et al*., 2007). بنابراین این ماده یک ترکیب بسیار حساس به حرارت[5] است که تخریب آن به‌صورت هوازی و غیرهوازی صورت می‌گیرد (Vieira *et al*., 2000). نرخ تخریب اسید آسکوربیک به شرایط محیطی مانند دما و فعالیت آبی وابسته است. مشخص شده است که در صورت حفظ ویتامین C در ماده غذایی، سایر ترکیبات مغذی نیز حفظ خواهند شد. بنابراین این

1، 2 و 3- به‌ترتیب دانش‌آموخته دکتری، دانشیار و استاد، گروه مهندسی مواد و طراحی صنایع غذایی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
(*- نویسنده مسئول: Email: ziaiifar@gmail.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v14i5.69053

[4] Recommended daily allowance
[5] Thermolabile

ترکیب به‌عنوان شاخص کیفیت تغذیه‌ای[1] طی فرآوری مواد غـذایی در نظر گرفته می‌شود (Uddin *et al*., 2002).

یکی از فرآینـدهای نـوین در صـنعت غـذا، عملیـات همزمـان بلانچینگ خشک مادون قرمز و آبزدایـی[2] (SIRDBD) میـوه‌هـا و سبزیجات می‌باشد کـه موجـب افـزایش کیفیـت محصـول نهـایی می‌گردد (Zhu *et al*., 2010). یکـی از اثـرات مثبـت بلانچینـگ، کمک به تاخیر از دست رفتن ویتامین‌ها اسـت (De Corcuera *et al*., 2004؛ Grandison, 2006). تاثیر حرارت‌دهـی مـادون قرمـز روی تخریب آسکوربیک اسید کمتر مورد توجـه قـرار گرفتـه اسـت (Santos & Silva, 2008). بلانچینگ و آبزدایی همزمـان مـادون قرمـز بـه دو روش مـداوم و متنـاوب امکـان‌پـذیر اسـت. در حـین حرارت‌دهی مداوم[3]، شدت تابش و در حرارت‌دهـی متنـاوب[4] دمـای سطحی محصول ثابت نگه داشته می‌شود. مزیت پرتودهی متنـاوب ذخیره انرژی و بهبود کیفیت محصول است (Zhu & Pan, 2009). بیش بلانچینگ[5] موجب افت کیفیت و از بین رفـتن مـواد مغـذی و به‌خصوص ویتامین‌ها می‌گردد. بنابراین، شرایط دقیق فرآیند (زمان و دما) با هدف جلوگیری از بیش‌فرآوری[6] تعیین می‌گـردد. بـرای ایـن منظور، عواملی مانند دستیابی به دمای مرکزی خاص، دستیابی بـه سطح خاصی از غیرفعال‌سازی آنزیمی و حفظ یک نسبت مشخص از ویتامین C در نظر گرفته می‌شود. این امر تحت تـاثیر خصوصـیات بیوفیزیکی میوه و همچنین اندازه و شکل قطعات محصول می‌باشـد (Grandison, 2006).

Timoumi و همکـاران (2007) تـاثیر دمـای خشـک‌کـردن مادون‌قرمز را روی تخریب ویتامین C در محصـول سـیب بررسـی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد، ثابت سرعت تخریـب ویتـامین C بـا افزایش دما در محدوده 70-40 درجه سانتی‌گراد زیاد شد. آن‌ها تاثیر ضخامت را در نظر نگرفتند.

Vishwanathan و همکاران (2013) باقی‌مانده ویتـامین C را در فرآیند حرارت‌دهی مادون قرمز و هوای داغ بـه‌صـورت ترکیبـی (هیبرید[7]) برای برش‌های هویج بررسی کردند. باقی‌مانده ویتامین C محلول در آب در هویج‌های بلانچ‌شده با تابش مادون قرمـز بـالاتر (62 درصد) از روش بخار (49 درصد) و آب (43 درصـد) بـود. ایـن مطالعه پتانسیل کاربرد بلانچینگ خشک مادون قرمـز را در بهبـود کیفیت محصولات غذایی و سبزیجات تائید نمود.

Marfil و همکاران (2008) سینتیک تخریب آسکوربیک اسید را طی خشک‌کردن گوجه‌فرنگی با روش‌هـای مختلـف خشـک‌کـردن بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند که افزایش دما منجر به افـزایش نرخ تخریب گردید. Erenturk و همکاران (2005) تخریب ویتامین C را طی خشک‌کردن هوای داغ میوه گل رز[8] بررسی کردند. نتـایج نشان داد که محتوی این ویتامین طی فرآیند تحت تاثیر زمان، دمای هوای و همچنین محتوی رطوبت محصول است.

Castro و همکاران (2004) سینتیک تخریب آسکوربیک اسـید را طی حرارت‌دهی اهمیک[9] توت فرنگی بررسی نمودند. نتایج نشان داد که تخریب ویتامین از مدل سینتیکی درجه اول برای حرارت‌دهی معمول و اهمیک پیروی می‌کند.

Verbeyst و همکاران (2013) مدل‌سازی تخریـب ویتـامین C طی فرآوری حرارتی و تیمار پرفشار در میوه قرمز[10] را مطالعه کردند. آن‌ها از مدل تبدیل جزئی[11] برای توصیف تخریب ویتامین در شرایط هوازی استفاده نمودند. نتایج نشان داد کـه طـی فـرآوری حرارتـی میوه‌ها کاهش غلظت اکسیژن پیش از فرآینـد مـی‌توانـد بـه حفـظ ویتامین کمک نماید. همچنین مشخص شـد، کـاربرد فشـار بـالا و دمای بالا به طور همزمان در فرآوری از طریق کاهش زمان می‌تواند در تولید محصولی با سطح ویتامین بالا مناسب باشد.

در این پژوهش، در مرحلـه اول: زمـان و دمـای مناسـب بـرای بلانچینگ خشک مادون قرمز جهت نابودی آنزیم پلی فنل‌اکسـیداز (PPO) مشخص گردید. همچنین تغییرات دمایی مرکز محصول طی فـرآوری ثبـت شـد و دمـای مرکـزی محصـول در زمـان کفایـت بلانچینگ مشخص گردید. در مرحله دوم: مطالعه تغییرات محتـوی ویتامین C طی پرتودهی انجام گرفت و تاثیر ضخامت برش و دمای پرتودهی روی نرخ تخریب آسکوربیک اسـید بررسـی شـد. تـاکنون سینتیک تخریب ویتامین C طی فرآیند نوین پرتودهی مادون قرمز با روش حرارت دهی متناوب (در دمای ثابت) بـرای ضـخامت‌هـای مختلف سیب بررسی نشده است. این کار با هدف افـزایش سـرعت آنزیم‌بری برش‌های میوه ضمن حفظ کیفیت تغذیه‌ای انجام می‌گیرد. در این پژوهش روش ارزیابی کفایت بلانچینگ به‌عنوان یـک روش ارزیابی سریع و کاربردی در صنعت مواد غذایی معرفی می‌گردد.

مواد و روش‌ها

سیب واریته زرد لبنانی[12] از بازار محلی خریداری گردید و مطابق Acevedo و همکاران (2008) در دمای 1±0 درجه سـانتی‌گـراد و

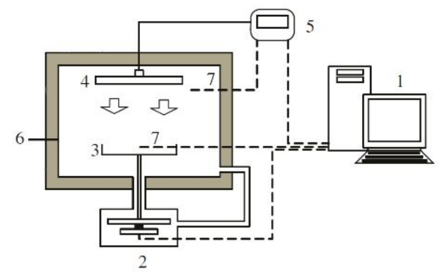
[1] Nutrient quality
[2] Simultaneous infrared dry-blanching and dehydration
[3] Continuous
[4] Intermittent
[5] Over-blanching
[6] Over processing
[7] Hybrid
[8] Rosehip
[9] Ohmic
[10] Red Fruit
[11] Fractional conversion
[12] Golden delicious

رطوبت نسبی 95-90 درصد نگهداری شد. قبل از هر فرآیند حرارتی، نمونه‌های سیب از سردخانه خارج شدند و پس از رسیدن به دمای محیط مورد استفاده قرار گرفتند. نمونه‌ها به‌صورت دستی پوست‌گیری شدند و سپس در سه اندازه به‌صورت برش‌هایی با ضخامت 5، 9 و 13 میلی‌متر و با قطر 20 میلی‌متر آماده گردیدند. برش‌های سیب بلافاصله وارد عملیات همزمان بلانچینگ و خشک‌کردن مادون‌قرمز شدند.

سیستم خشک‌کن مادون قرمز

شکل (1) اجزای سیستم خشک‌کن اتوماتیک مادون‌قرمز مورد استفاده را مطابق سیستم Liu و همکاران (2014) نشان می‌دهد. این خشک‌کن شامل یک محفظه مکعب مستطیل بود. منبع تابش مادون‌قرمز از نوع سرامیکی با توان 1000 وات در داخل محفظه قرار داشت. دمای سطحی نمونه در محفظه خشک‌کن به‌طور مداوم با استفاده از ترموکوپل[1] نوع K و کنترل‌کننده منطقی برنامه‌پذیر (PLC)[2] کنترل شد. وزن نمونه طی فرآیند نیز به‌طور مداوم با استفاده از ترازوی حساس (ADAM, HCB 3001) با دقت 0/1 گرم تا دستیابی به وزن ثابت کنترل گردید.

دمای مرکزی محصول نیز توسط ترموکوپل نوع K ثبت شد.



شکل 1- سیستم خشک‌کن مادون‌قرمز و لوازم آن، (1) کامپیوتر (2) ترازو (3) سینی نمونه (4) تابش‌کننده سرامیکی مادون‌قرمز (5) کنترل‌کننده منطقی برنامه‌پذیر (PLC) (6) محفظه خشک‌کن (7) ترموکوپل‌های نوع K

عملیات حرارت‌دهی متناوب

جهت عملیات حرارتی متناوب مطابق آنچه Zhu و همکاران (2010) انجام دادند، سه دمای سطحی ثابت برابر با 70، 75، 80 درجه سانتی‌گراد انتخاب شد. محدوده حداکثر زمان فرآیند برای دماها و ضخامت‌های آزمون تا رسیدن به وزن ثابت در جدول (1) ذکر شده است.

جدول 1- زمان تقریبی فرآیند برای تیمارهای مختلف تا دستیابی به وزن ثابت

ضخامت (mm)	دما (°C)	زمان (min)
5	70	195
	75	165
	80	135
9	70	300
	75	240
	80	210
13	70	420
	75	300
	80	240

آماده‌سازی محلول‌های شیمیایی

- معرف کاتکول[3]: به‌منظور تهیه محلول 0/1 مولار کاتکول مقدار 1/1011 گرم از پودر کاتکول با 100 میلی‌لیتر آب مقطر در یک ارلن به حجم رسانیده شد.

- تیترانت 6،2-دی کلرو فنل اندوفنل[4] (DCPIP): جهت آماده‌سازی (DCPIP) با غلظت 0/01 مولار، میزان 0/7252 گرم از شناساگر ۶،۲-دی کلرو فنل اندوفنل نمک سدیم منوهیدرات (وزن مولکولی= 290/08 گرم برمول) در یک ارلن 250 میلی‌لیتری با آب مقطر به حجم رسید. تیترانت روزانه تهیه شد و در ظرف شیشه‌ای تیره رنگ نگهداری گردید.

- محلول استاندارد آسکوربیک اسید: برای تهیه محلول 5 میلی‌مولار آسکوربیک اسید (وزن مولکولی= 176/13 گرم برمول) میزان 88/065 میلی‌گرم آسکوربیک اسید با 100 میلی‌لیتر آب مقطر در یک ارلن به حجم رسانیده شد. محلول استاندارد حاضر در یک ظرف تیره رنگ نگهداری گردید.

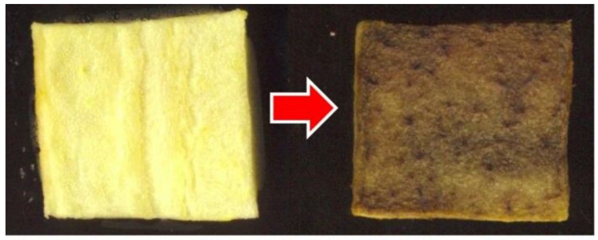
بررسی فعالیت آنزیمی

به منظور بررسی میزان فعالیت آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز (PPO) و تأثیر آن روی رنگ محصول، برش‌های سیب با فاصله زمانی 2 دقیقه از دستگاه خارج شدند و زمان فرآیند تا عدم وقوع تغییر رنگ ناشی از افزودن معرف کاتکول ادامه یافت. عکس‌برداری از نمونه انجام شد. سپس روی سطح نمونه تحت تیمار مطابق روش Lee و همکاران (2002) مقدار 1 میلی‌لیتر معرف کاتکول اسپری شد و بلافاصله در دمای 25 درجه سانتی‌گراد (دمای محیط) به مدت 15 دقیقه قرار گرفت. مطابق شکل (2) فعالیت آنزیمی در حضور پیش‌ماده کاتکول تشدید می‌گردد و به‌صورت قهوه‌ای شدن نمونه

[1] Thermocouple
[2] Programmable Logic Controller

[3] Catechol
[4] 2,6-dichlorophenol-indophenol

بروز می‌نماید. عکس‌برداری از نمونه تغییر رنگ داده نیز انجام پذیرفت.



(الف) (ب)

شکل 2- نمونه برش سیب 5 میلی‌متری حرارت داده شده در دمای 70 درجه سانتی‌گراد به مدت 30 دقیقه (الف)، تشدید فعالیت آنزیمی و تغییر رنگ نمونه در اثر اسپری محلول کاتکول و رنگ نهایی بعد از 15 دقیقه در دمای 25 درجه سانتی‌گراد (ب)

عکس‌برداری

عکس‌برداری از برش‌های سیب با استفاده از یک اسکنر مسطح (HP Scanjet G2710) ساخت ایالات متحده آمریکا مطابق با روش Romani و همکاران (2009) انجام شد. نمونه‌های تحت تیمار روی اسکنر قرار گرفته و سپس از یک جعبه سیاه جهت ممانعت از دخالت نورهای محیطی و بازتابش نور استفاده شد. تصاویر با کیفیت 300 dpi و فرمت TIFF-24 bit تهیه شد.

آنالیز رنگ

تجزیه و تحلیل رنگ در تصاویر به‌دست آمده، در فضای رنگی L*a*b* با استفاده از پلاگین تبدیل فضای رنگ[1] توسط نرم‌افزار ImageJ نسخه 1.6.0 انجام شد.

اندیس قهوه‌ای‌شدن

اندیس قهوه‌ای‌شدن نمونه قبل از استفاده از معرف کاتکول (BI_0) و در حضور پیش‌ماده کاتکول (BI_c) مطابق روش Maskan (2001) از رابطه (1) محاسبه شد. متغیر x در این معادله از رابطه (2) حساب می‌گردد. اختلاف میان اندیس قهوه‌ای شدن ($\triangle BI=BI_c-BI_0$) به‌عنوان شاخصی از باقی‌مانده فعالیت آنزیمی محاسبه شد. در نهایت، زمان مورد نیاز برای آنزیم‌بری تا دستیابی به اختلاف صفر میان اندیس‌های قهوه‌ای شدن ($\triangle BI=0$) در نظر گرفته شد.

$$BI=\frac{\left[100\left(x-0.31\right)\right]}{0.17} \quad (1)$$

$$x=\frac{\left(a+1.75L\right)}{\left(5.645L+a-3.012b\right)} \quad (2)$$

آماده‌سازی نمونه برای سنجش ویتامین C

جهت انجام سنجش ویتامین C نیز نمونه‌های آزمایشی با فاصله زمانی 30 دقیقه از خشک‌کن خارج شدند و زمان تا دستیابی به وزن ثابت ادامه یافت. ابتدا در یک هاون چینی نمونه فرآوری‌شده به قطعات ریزتر تبدیل شد و حدود 10 میلی‌لیتر آب مقطر در حین خرد شدن نمونه به آن اضافه گردید. هر بار عصاره استخراج شده به یک ارلن 100 میلی‌لیتری منتقل شد. در نهایت پالپ خرد شده میوه از میان یک توری[2] فشرده گردید و با 10 میلی‌لیتر آب مقطر در ارلن شستشو داده شد. در نهایت، حجم مایع استخراج شده در ارلن با آب مقطر به 100 میلی‌لیتر رسید.

استانداردسازی ۶،۲-دی کلرو فنل اندوفنل

جهت استانداردسازی، میزان 5 میلی‌لیتر از محلول استاندارد آسکوربیک اسید در ارلن ریخته شد و در pH برابر با 3 با استفاده از اگزالیک اسید 2 درصد تنظیم شد. با انجام تیتراسیون و مشخص بودن غلظت آسکوربیک اسید (M_{VitC}) و حجم آن (V_{VitC}) و همچنین مشخص شدن حجم تیترانت مصرفی (V_{DCPIP}) مطابق رابطه (3) غلظت واقعی تیترانت (M_{DCPIP}) محاسبه گردید.

$$M_{DCPIP}\times V_{DCPIP}=M_{VitC}\times V_{VitC} \quad (3)$$

اندازه‌گیری ویتامین C

اندازه‌گیری محتوی ویتامین C در نمونه‌های فرآوری‌شده مشابه Timoumi و همکاران (2007) انجام گرفت. این کار با استفاده از روش تیتراسیون با استفاده از ۶،۲-دی کلرو فنل اندوفنل (DCPIP) صورت گرفت. مطابق با بیان Hossu و Magearu (2004) مزیت این روش نسبت به تیتراسیون توسط محلول ید این است که در تیتراسیون با محلول ید از معرف نشاسته استفاده می‌شود که واکنش

---

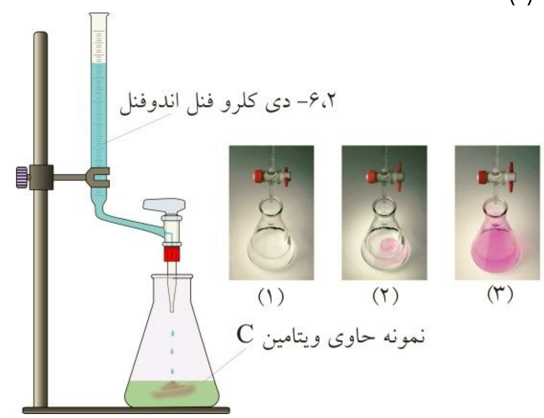
1 Color space convertor

2 Cheesecloth

تیترانت را با اسید آسکوربیک کند می‌نماید و از دقت تیتراسیون کاسته می‌گردد. مطابق شکل (3) که نحوه انجام تیتراسیون را نشان می‌دهد، نقطه پایانی تیتراسیون زمانی خواهد بود که رنگ صورتی به مدت 15 ثانیه در محلول پایدار باقی بماند (رابطه 4). با استفاده از رابطه (3) غلظت آسکوربیک اسید محاسبه شد. در نهایت، محتوی آسکوربیک اسید (C) برحسب گرم مطابق با رابطه (5) محاسبه گردید. در این رابطه n_{VitC} و MW_{VitC} به‌ترتیب نشان‌دهنده تعداد مول و وزن مولکولی آسکوربیک اسید است.

DCPIPH (صورتی) + vitamin C → $DCPIPH_2$ (بی‌رنگ)
DCPIP (آبی) + H^+ → DCPIPH (صورتی) (4)

$$C = n_{VitC} \times MW_{VitC} = M_{VitC} \times V_{VitC} \times MW_{VitC} \quad (5)$$



شکل 3- مراحل تیتراسیون با استفاده از ۶،۲-دی کلرو فنل اندوفنل جهت اندازه‌گیری ویتامین C، آغاز تیتراسیون (1)، حین تیتراسیون (2)، نقطه پایانی تیتراسیون (3)

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

تجزیه و تحلیل آماری در نرم‌افزار SPSS نسخه 19 انجام گرفت. بدین منظور، برای بررسی زمان مورد نیاز برای آنزیم‌بری از طرح کاملاً تصادفی[1] (CRD) در قالب فاکتوریل (3^2) با در نظرگیری دو فاکتور ضخامت (در سه سطح) و دما (در سه سطح) استفاده شد. تجزیه و تحلیل آماری ثابت سینتیکی تخریب ویتامین (k) نیز به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی[2] (RCBD) انجام گرفت که طی آن دما به‌عنوان بلوک و ضخامت به‌عنوان تیمار در نظر گرفته شد. مقایسه میانگین به‌صورت آزمون دانکن[3] با سطح اطمینان 95 درصد (P<0/05) انجام گرفت. کلیه آزمایشات در سه تکرار انجام شد.

مدل‌سازی سینتیک تخریب ویتامین C

مدل‌سازی سینتیک تخریب ویتامین C مطابق روش Timoumi و همکاران (2007) انجام شد. این مدل به‌صورت رابطه (6) قابل تعریف است. در این رابطه، C محتوی ویتامین را نشان می‌دهد و k ثابت سینتیکی تخریب می‌باشد. با انتگرال‌گیری از این رابطه بین زمان صفر و هر لحظه از فرآیند معادله نوشته شده در رابطه (7) به‌دست می‌آید.

$$-\frac{dC}{dt} = kC^n \quad (6)$$

$$Ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = -kt \quad (7)$$

مدل آرنیوس

مشابه روش ژائو و همکاران (2014)، ارتباط ثابت سینتیکی تخریب ویتامین (k) با دمای فرآیند در ضخامت‌های مختلف محصول با استفاده از شکل خطی معادله آرنیوس[4] مطابق رابطه (12) بررسی شد. k نشاندهنده پارامتر مورد مطالعه یعنی ثابت سینتیکی تخریب ویتامین می‌باشد. E_a نشان‌دهنده انرژی فعال‌سازی بر حسب $J.mol^{-1}$ و R ثابت جهانی گازها برابر با $8/309\ J.mol^{-1}.K^{-1}$ می‌باشد. T دمای مطلق برحسب کلوین است.

$$Ln\ k = Ln\ k_0 - \frac{E_a}{RT} \quad (8)$$

برازش

برازش مدل‌ها با استفاده از جعبه ابزار برازش منحنی[5] در نرم‌افزار MATLAB نسخه 2009 و با سطح اطمینان 95 درصد (P<0/05) انجام شد. جهت ارزیابی و مقایسه مدل‌ها، مطابق Krokida و همکاران (1998) از ضریب همبستگی تصحیح شده[6] ($Adj.R^2$) و ریشه میانگین مربعات خطا[7] (RMSE) به‌ترتیب مطابق رابطه (9) و رابطه (10) استفاده شد. در این روابط، o و P به‌ترتیب مقدار مشاهده شده و مقدار پیش‌بینی شده است. n تعداد مشاهده و p تعداد پارامترهای مدل می‌باشد.

$$Adj.R^2 = R^2 - \frac{p-1}{n-p}\left(1-R^2\right) \quad (9)$$

[1] Completely randomized design
[2] Randomized complete block design
[3] Duncan test
[4] Arrhenius equation
[5] Curve fitting toolbox
[6] Adjusted R-squared
[7] Root mean squared error

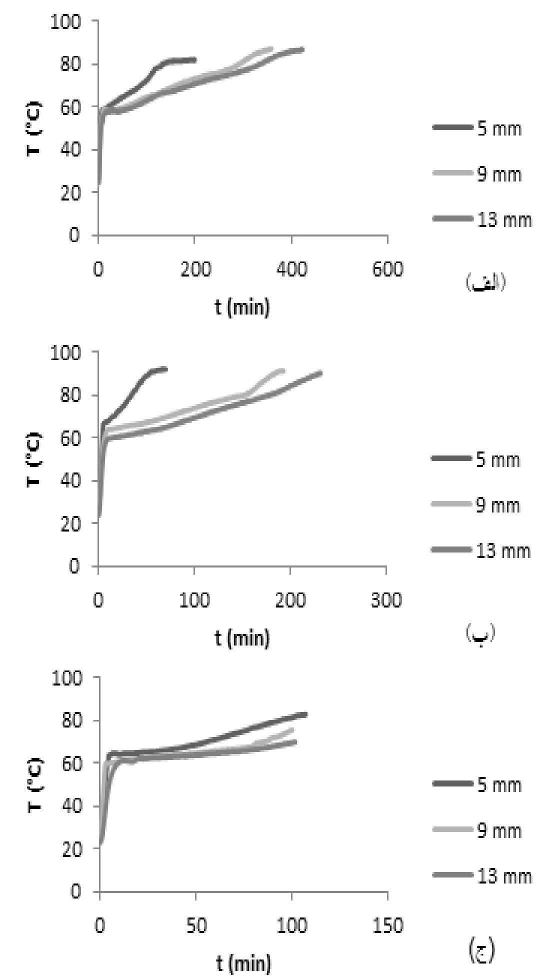
$$RMSE = \sqrt{\frac{(o-P)^2}{n-p}} \qquad (10)$$

نتایج و بحث

تغییرات دمای مرکز محصول طی پرتودهی مادون قرمز

شکل (4) تغییرات دمای مرکزی برش‌های سیب در ضخامت‌های مختلف مورد آزمون را طی پرتودهی متناوب مادون قرمز نشان می‌دهد. پس از تعیین زمان مناسب آنزیم‌بری، از نمودارهای دمایی می‌توان در تعیین کفایت آنزیم‌بری استفاده کرد. مطابق شکل (4- الف) و (4- ب) تغییرات منحنی دمایی برای ضخامت 5 میلی‌متری در دمای پایین نسبت به دو ضخامت 9 و 13 میلی‌متری سریع‌تر مشاهده شد. اما با افزایش دمای فرآوری به دمای 80 درجه سانتی‌گراد تاثیر ضخامت در شکل منحنی دمایی کمتر شد و ضخامت‌های مختلف تقریباً شکل یکسانی از پروفیل دمایی را نشان دادند (شکل 4-ج). Tanaka و همکاران (2007) بیان کردند که پس از گذشت مدتی از شروع فرآیند دما در مرکز محصول به آهستگی افزایش می‌یابد که این امر می‌تواند به دلیل مقاومت گرمایی داخلی[1] محصول باشد. Nowak و Lewicki (2004) بیان کردند که دمای برش‌های سیب بستگی به مقدار آب موجود در آن دارد. در ابتدای فرآیند خشک‌کردن مادون قرمز دما با سرعت بالایی افزایش یافته و سپس افزایش سریع دما متوقف می‌شود. این مدت زمان حدود 11-10 دقیقه می‌باشد و طی آن 10 درصد رطوبت محصول تبخیر خواهد شد و در پایان فرآیند دمای نهایی محصول بستگی به فاصله بین تشعشع‌کننده مادون قرمز و سطح محصول دارد. Meeso و همکاران (2007) علت افزایش سریع دما در لایه‌های تحت پرتودهی مادون قرمز را نفوذ مستقیم انرژی مادون قرمز به داخل محصول بیان کردند. در رابطه با ضخامت محصول نیز Lin و همکاران (2009) بیان نمودند که برش‌های ضخیم لایه هدایتی ضخیم‌تری دارند که می‌تواند رطوبت سطحی را برای مدت طولانی‌تری حفظ نماید و بنابراین شروع تغییرات دمایی با شیب ملائم‌تری مشاهده خواهد شد. Riadh و همکاران (2015) نیز گزارش کردند که زمان خشک‌کردن با کاهش ضخامت محصول و افزایش دمای فرآیند کمترخواهد شد. Datta و Ni (2002) نیز حضور امواج مادون قرمز را عامل ثبت پروفایل دمای سطحی بیشتر معرفی کردند و عمق نفوذ امواج را با میزان دمای محصول مرتبط دانستند.

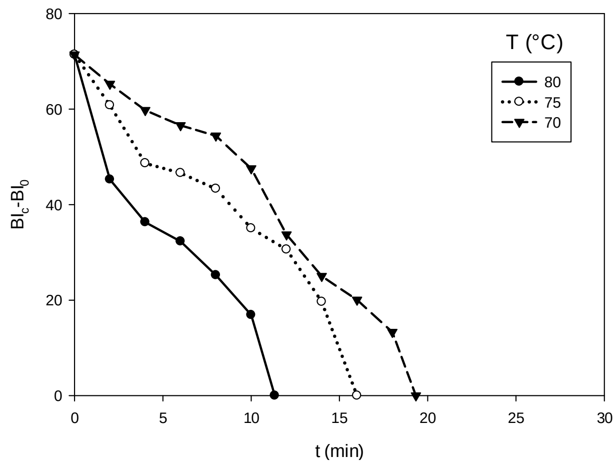
[1] Internal heat resistance



شکل 4-تغییرات دمای مرکزی برش‌های سیب در ضخامت مختلف طی پرتودهی متناوب مادون قرمز در دمای سطحی ثابت 70 درجه سانتی‌گراد (الف)، 75 درجه سانتی‌گراد (ب)، 80 درجه سانتی‌گراد (ج)

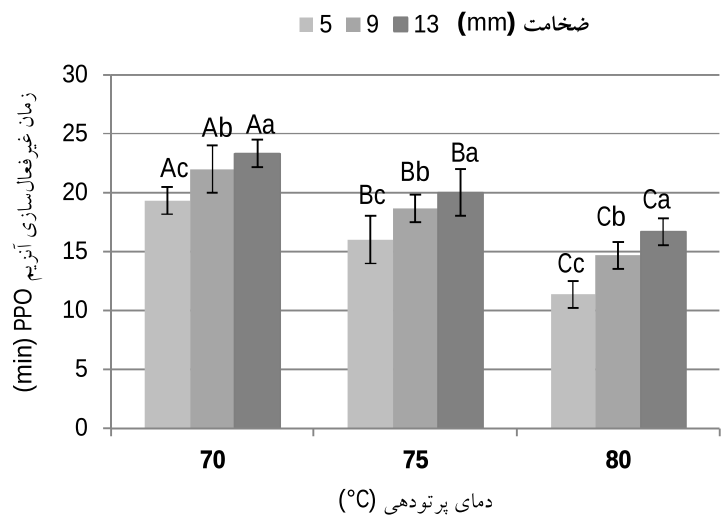
غیرفعال‌سازی آنزیم پلی فنل اکسیداز

چگونگی روند آنزیم‌بری طی حرارت‌دهی با پرتودهی مادون قرمز در شکل (5) نشان داده شده است (ضخامت 5 میلی‌متر). غیرفعال‌سازی آنزیمی با افزایش زمان حرارت‌دهی افزایش یافت و زمان مورد نیاز برای بلانچینگ با افزایش دما کوتاه‌تر شد. این مشاهده با گزارش Bai و همکاران (2013) سازگار است. دمای 80 درجه سانتی‌گراد از سرعت مناسبی در آنزیم‌بری برخوردار است. در دمای 80 درجه سانتی‌گراد برای ضخامت 5، 9 و 13 میلی‌متر در زمان کفایت بلانچینگ دمای مرکز محصول به‌ترتیب برابر با 64/4، 61/7 و 60/8 درجه سانتی‌گراد بود.



شکل 5- روند تغییرات آنزیم‌بری در دماهای مختلف پرتودهی تا عدم تغییر رنگ برش سیب با معرف کاتکول (ضخامت 5 میلی‌متر)

شکل (6) مقایسه آماری میانگین زمان مورد نیاز جهت آنزیم‌بری برش سیب در ضخامت‌ها و دماهای مورد آزمون را نشان می‌دهد. جدول (2) نتایج تجزیه واریانس را برای این آنالیز آماری نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، با افزایش دما یا کاهش ضخامت؛ زمان مورد نیاز برای غیرفعال‌سازی پلی‌فنل‌اکسیداز همواره به‌طور معنی‌داری کاهش یافت.



شکل 6- مقایسه آماری زمان مورد نیاز برای غیرفعال‌سازی کامل پلی فنل اکسیداز در تیمارهای مختلف

حروف لاتین بزرگ مقایسه بین دما و حروف لاتین کوچک مقایسه بین ضخامت‌ها را نشان می‌دهد ($P<0/05$).

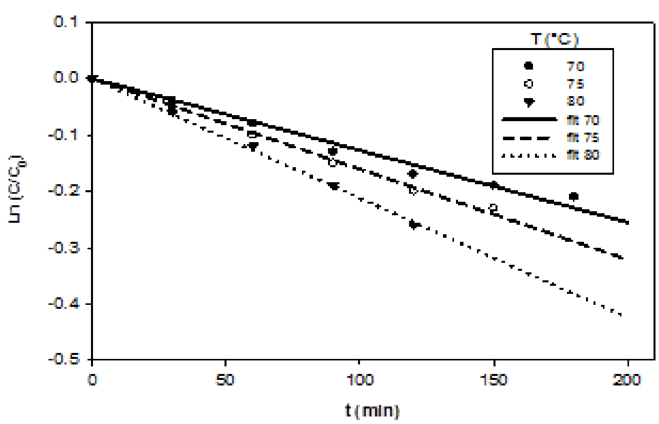
جدول 2- جدول ANOVA برای مقایسه تاثیر تیمارهای مورد آزمون روی مدت زمان مورد نیاز برای غیرفعال‌سازی کامل پلی‌فنل اکسیداز در برش‌های سیب (P<0/05)

تیمار	مجموع مربعات(SS)	درجه آزادی(df)	میانگین مربعات(MS)	F	معنی داری(sig.)
مدل	9084/000	9	1009/333	454/200	0/0000
دما	242/667	2	121/333	54/600	0/0000
ضخامت	91/556	2	45/778	20/600	0/0000
دما×ضخامت (اثر متقابل)	1/778	4	0/444	0/200	0/935
خطا	40/000	18	2/222		
کل	9124/000	27			

در همین راستا، Zhu و همکاران (2010) بیان کردند که به‌طور کلی طی پرتودهی مادون قرمز در برش نازک و/ یا دمای سطحی بالاتر غیرفعال‌سازی آنزیمی سریع‌تر خواهد بود. بـه گـزارش Lin و همکاران (2009)، افزایش ضخامت موجـب کـاهش توزیـع دمـایی یکنواخت در داخل محصـول مـی‌گـردد. بسـیاری از محققـین نـرخ حرارت‌دهی سریع و دما را به‌عنوان عاملی مـوثر در غیرفعـال‌سـازی آنزیم گزارش کردنـد (Guiamba *et al.*, 2015؛ Bingol *et al.*, 2014؛ Jeevitha *et al.*, 2013؛ Bingol *et al.*, 2012؛ MacDonald & Schaschke, 2000). Lavelli و Caronni (2010) گزارش کردند که جهت فعالیت پلی‌فنـل‌اکسـیداز در سـیب آبزدایی شده، حد آستانه مورد انتظار برای فعالیت آبی برابر با بالای 0/32 با توجه به رنگ است. حضور اکسیژن می‌تواند موجب کـاهش سرعت غیرفعال‌سازی آنزیمی طی بلانچینگ خشک گردد. Quiles و همکاران (2005) بیان کردند که واریته‌های مختلف سـیب دارای الگوی فعالیـت آنزیمـی تقریبـاً مشـابهی هسـتند و فعالیـت آنـزیم پلی‌فنل‌اکسیداز تحت تاثیر تغییرات میکروساختاری بافـت پارانشـیم سیب قرار می‌گیرد. در واقع، طی آبزدایی پارانشـیم سـیب چروکیـده شـده و ایـن امـر موجـب افـزایش اکسـیژن در دسـترس آنـزیم در میکروسـاختارهای اطـراف آن مـی‌گـردد و ایـن امـر فعالیـت پلی‌فنل‌اکسیداز را در غیاب غوطه‌وری در محلـول اسـمزی افـزایش می‌دهد. در ارتباط با اثرگذاری فعالیت آنزیمی روی محتوی ویتامین C، Barrett و Lloyd (2012) بیان کردند که آنزیم‌های اکسـیداتیو (پلی فنل‌اکسیداز و پراکسیداز) ممکن است محتوی آسکوربیک اسید را تحت تاثیر قرار دهند، اگر چه ارزیابی نشده است. Oey و همکاران (2008) بیان کردند که به‌خصوص طی حرارت‌دهی آدیاباتیک عامل عمده تخریب ویتامین C اکسیداسیون است.

سینتیک تخریب ویتامین C

شکل (7) نمودار برازش مدل سینتیکی برای تخریب آسکوربیک اسید را در دماهای مختلف نمایش می‌دهد (ضخامت 5 میلی‌متر).



شکل 7- برازش مدل سینتیکی تخریب آسکوربیک اسید در دماهای پرتودهی مختلف برای ضخامت 5 میلی‌متر

جدول (3) اطلاعات برازش مدل را روی داده‌های تجربی در تیمارهای مختلف به همراه مقایسه آماری میان ثابت‌های سینتیکی تخریب (k) نشان می‌دهد. جدول (4) نتایج تجزیه و تحلیل آماری از نظر تاثیر تیمارها بر ثابت سینتیک تخریب ویتامین را نشان می‌دهد. اختلاف میان دماهای مورد آزمون از نظر ثابت سینتیکی تخریب همواره معنی‌دار بود و با افزایش دما ثابت سینتیکی تخریب ویتامین زیاد شد. از نظر تاثیر ضخامت نیز، در ضخامت پایین برش‌ها ثابت سینتیکی تخریب ویتامین بیشتر شد و میان ضخامت 5 میلی‌متر با دو ضخامت مورد آزمون دیگر (9 و 13 میلی‌متر) اختلاف معنی‌دار وجود داشت. این نتایج با گزارشات بسیاری از پژوهشگران سازگاری دارد (Wu *et al.*, 2010 ؛Kaya *et al.*, 2010 ؛Mrad *et al.*, 2012؛ Timoumi *et al.*, 2007 ؛Chua *et al.*, 2003, ؛Uddin *et al.*, 2001).

جدول 3- اطلاعات برازش مدل تخریب ویتامین C روی داده‌های تجربی در تیمارهای مختلف

ضخامت (mm)	دما (°C)	k	Adj.R^2	RMSE
5	70	-0/001275[Ca]	0/9758	0/01237
	75	-0/001606[Ba]	0/9944	0/006606
	80	-0/002122[Aa]	0/9977	0/004916
9	70	-0/001152[Cb]	0/9981	0/005043
	75	-0/001533[Bb]	0/9953	0/008689
	80	-0/00196[Ab]	0/9933	0/01191
13	70	-0/0011[Cb]	0/9967	0/007898
	75	-0/00149[Bb]	0/9953	0/0105
	80	-0/001900[Ab]	0/989	0/01757

*حروف لاتین بزرگ مقایسه بین دماهای آزمون و حروف لاتین کوچک مقایسه بین ضخامت برش‌ها است.
* حروف مشترک نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار است (P<0/05).

جدول 4- جدول ANOVA برای مقایسه تاثیر تیمارها روی ثابت تخریب ویتامین C برش‌های سیب (P<0/05)

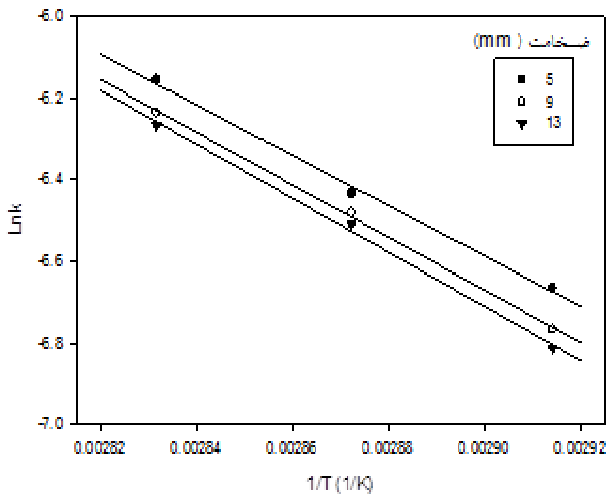
	مجموع مربعات(SS)	درجه آزادی(df)	میانگین مربعات(MS)	F	معنی‌داری(sig.)
مدل	$2/326\times10^{-5}$	5	$4/653\times10^{-6}$	5716/209	0/000
ضخامت (تیمار)	$4/615\times10^{-8}$	2	$2/308\times10^{-8}$	28/350	0/004
دما (بلوک)	$1/008\times10^{-6}$	2	$5/040\times10^{-7}$	619/209	0/000
خطا	$3/256\times10^{-9}$	4	$8/139\times10^{-10}$		
کل	$2/327\times10^{-5}$	9			

Santos و Silva (2008) بیان کردند که تخریب آسکوربیک اسید طی فرآیند خشک‌کردن وابسته به زمان، دما و رطوبت خواهد بود. در واقع، اثر محتوی رطوبت در ابتدای فرآیند غالب است و تاثیر دما با ادامه یافتن فرآیند بیشتر می‌گردد. افزایش میزان آب (افزایش ضخامت) موجب می‌گردد تا فاز آبی کمتر ویسکوز شود و این امر پدیده نفوذ و انتشار را در محصول افزایش می‌دهد که این اثر باعث تسهیل واکنش اکسیداسیون و تخریب آسکوربیک اسید خواهد شد. اگر چه در فعالیت آبی بالا ممکن است محتوای آب با رقیق کردن آسکوربیک اسید از نرخ تخریب آن بکاهد. بنابراین کنترل محتوی آب برای کنترل تخریب آسکوربیک اسید بسیار پیچیده است. این در حالی است که Singh و همکاران (1983) گزارش کردند که ثابت تخریب آسکوربیک اسید با افزایش دما یا افزایش فعالیت آبی یا افزایش هر دو عامل زیاد خواهد شد. Mclaughlin و Magee (1998) نیز آسکوربیک اسید را در دمای پایین و فعالیت آبی کم پایدارتر دانستند. Sablani (2006) بیان کرد که آسکوربیک اسید در خشک‌کردن در زمان طولانی به آسانی تخریب خواهد شد و این ترکیب برخلاف کارتنوئیدها به زمان خشک‌کردن نسبت به دمای خشک‌کردن حساسیت بیشتری دارد (کاربرد دمای بالا و زمان کوتاه). Joshi و همکاران (2011) دلیل عمده اکسیداسیون آسکوربیک اسید تحت شرایط دمایی بالا و کاهش غلظت آن را مصرف ویتامین C به دلیل اثر محافظت‌کنندگی آن روی اکسیداسیون پلی‌فنل‌ها دانستند. در پژوهش حاضر نیز محتوی ویتامین نمونه در زمان کوتاه در دماهای مختلف به یکدیگر نزدیک بود (شکل 7- در زمان 30 دقیقه). بنابراین کاربرد دمای بالا و زمان

کوتاه (HTST) ضمن افزایش سرعت عملیات آنزیم‌بری و نابودی آنزیم‌های اکسیداتیو می‌تواند در حفظ کیفیت محصول نیز مناسب باشد.

وابستگی تخریب ویتامین C به دما و ضخامت

شکل (8) برازش مدل خطی آرنیوس را روی لگاریتم طبیعی ثابت سینتیکی تخریب ویتامین نشان می‌دهد. اطلاعات برازش مدل خطی آرنیوس در جدول (5) نشان داده شده است. با افزایش ضخامت انرژی فعال‌سازی برای ثابت تخریب ویتامین افزایش یافت. Marfil و همکاران (2008) بیان کردند که انرژی فعال‌سازی بیشتر نشان‌دهنده وابستگی بیشتر نرخ واکنش تخریب آسکوربیک اسید به دما است. به عبارتی در ضخامت‌های بالا وابستگی تخریب آسکوربیک اسید به افزایش دما بیشتر خواهد بود. انرژی فعال‌سازی محاسبه شده در این پژوهش حدود 50 کیلوژول برمول بود که بیشتر از انرژی فعال‌سازی به‌دست آمده توسط Timoumi و همکاران (2007) است (حدود 15 کیلوژول بر مول). Lima و همکاران (2010) علت این امر را وابستگی بیشتر به دما دانستند. اگرچه ثابت سینتکی تخریب ویتامین با آنچه Timoumi و همکاران (2007) گزارش کردند شباهت داشت ($0/8-1/4\times10^{-3}$ برحسب عکس دقیقه). پژوهشگرانی نیز انرژی فعال‌سازی برای تخریب آسکوربیک اسید را در محدوده 71-36 کیلوژول برمول گزارش کردند (Lima *et al*., 2010 ؛Uddin *et al*., 2002).



شکل 8-لگاریتم طبیعی ثابت تخریب ویتامین C در برابر عکس دما در ضخامت مختلف برش سیب

جدول 5- اطلاعات برازش رابطه آرنیوس برای ثابت تخریب ویتامین C ضخامت‌های مختلف

ضخامت (mm)	Ln (k_0)	E_a ($J.mol^{-1}$)	$Adj.R^2$	RMSE
5	11/31	51266/53	0/9922	0/0225
9	12/01	53526/58	0/9975	0/01322
13	12/51	55055/43	0/9939	0/02145

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با هدف افزایش سرعت عملیات بلانچینگ ضمن حفظ کیفیت تغذیه‌ای برش‌های میوه پرتودهی در دماهای ثابت مختلف بررسی شد. دماهای مورد آزمون در گستره دمایی بالا انتخاب شدند تا جهت آنزیم‌بری سریع مناسب باشند. نتایج این پژوهش نشان داد که زمان آنزیم‌بری در دمای 80 درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌داری نسبت به دماهای دیگر مورد آزمون کمتر است و از طرفی تغییرات محتوی ویتامین C در زمان‌های ابتدایی فرآیند پرتودهی برای دماهای مختلف، نزدیک به‌هم مشاهده شد. بنابراین رویکرد دمای بالا و زمان کوتاه (HTST) می‌تواند برای تسریع عملیات بلانچینگ مادون قرمز مناسب باشد. پس از اعمال شرایط دمایی و زمانی مناسب برای نابودی آنزیم پلی‌فنل‌اکسیداز، در صورت لازم می‌توان فرآیند آبزدایی را در دمای پایین‌تر ادامه داد تا کیفیت تغذیه‌ای برش‌های میوه از لحاظ محتوی ویتامین C حفظ گردد.

منابع

Acevedo, N. C., Briones, V., Buera, P., & Aguilera, J. M. (2008). Microstructure affects the rate of chemical, physical and color changes during storage of dried apple discs. *Journal of Food Engineering*, 85(2), 222-231.

Bai, J. W., Gao, Z. J., Xiao, H. W., Wang, X. T., & Zhang, Q. (2013). Polyphenol oxidase inactivation and vitamin C degradation kinetics of Fuji apple quarters by high humidity air impingement blanching. *International journal of food science & technolog*y, 48(6), 1135-1141.

Barrett, D. M., & Lloyd, B. (2012). Advanced preservation methods and nutrient retention in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(1), 7-22.

Bingol, G., Wang, B., Zhang, A., Pan, Z., & McHugh, T. H. (2014). Comparison of water and infrared blanching methods for processing performance and final product quality of French fries. *Journal of Food Engineering*, 121, 135-142.

Bingol, G., Zhang, A., Pan, Z., & McHugh, T. H. (2012). Producing lower-calorie deep fat fried French fries using infrared dry-blanching as pretreatment. *Food Chemistry*, 132(2), 686-692.

Castro, I., Teixeira, J., Salengke, S., Sastry, S., & Vicente, A. (2004). Ohmic heating of strawberry products: electrical conductivity measurements and ascorbic acid degradation kinetics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(1), 27-36.

Chua, K., Mujumdar, A., & Chou, S. (2003). Intermittent drying of bioproducts—an overview. *Bioresource Technology*, 90(3), 285-295.

Datta, A., & Ni, H. (2002). Infrared and hot-air-assisted microwave heating of foods for control of surface moisture. *Journal of Food Engineering*, 51(4), 355-364.

De Corcuera, J. I. R., Cavalieri, R. P., & Powers, J. R. (2004). Blanching of foods Encyclopedia of agricultural, food, and biological engineering (pp. 1-5): Marcel Dekker, Inc New York.

Desai, K., & Park, H. (2005). Encapsulation of vitamin C in tripolyphosphate cross-linked chitosan microspheres by spray drying. *Journal of microencapsulation*, 22(2), 179-192.

Franke, A. A., Custer, L. J., Arakaki, C., & Murphy, S. P. (2004). Vitamin C and flavonoid levels of fruits and vegetables consumed in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis*, 17(1), 1-35.

Grandison, A. S. (2006). Postharvest handling and preparation of foods for processing. In: Brennan, J. G. and Grandison, A. S. (Eds.), Food Processing Handbook, Wiley-VCH, Weinheim, *Germany*, pp. 1-30.

Guiamba, I. R., Svanberg, U., & Ahrné, L. (2015). Effect of infrared blanching on enzyme activity and retention of β-carotene and vitamin C in dried mango. *Journal of Food Science*, 80(6).

Hernández, Y., Lobo, M. G., & González, M. (2006). Determination of vitamin C in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. *Food Chemistry*, 96(4), 654-664.

Hossu, A., & Magearu, V. (2004). Determination of vitamin C in pharmaceutical products with physico-chemical and bioanalytical technics. *Romanian Biotechnological Letters*., 9, 1497-1504.

Jeevitha, G., Hebbar, H. U., & Raghavarao, K. (2013). Electromagnetic Radiation-Based Dry Blanching of Red Bell Peppers: A Comparative Study. *Journal of Food Process Engineering*, 36(5), 663-674.

Joshi, A., Rupasinghe, H., & Khanizadeh, S. (2011). Impact of drying processes on bioactive phenolics, vitamin c and antioxidant capacity of red-fleshed apple slices. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(4), 453-457.

Kaya, A., Aydın, O., & Kolaylı, S. (2010). Effect of different drying conditions on the vitamin C (ascorbic acid) content of Hayward kiwifruits (*Actinidia deliciosa Planch*). *Food and Bioproducts Processing*, 88(2), 165-173.

Krokida, M., Tsami, E., & Maroulis, Z. (1998). Kinetics on color changes during drying of some fruits and vegetables. Drying Technology, 16(3-5), 667-685.

Lavelli, V., & Caronni, P. (2010). Polyphenol oxidase activity and implications on the quality of intermediate moisture and dried apples. *European Food Research and Technology*, 231(1), 93-100.

Lee, M.-K., Kim, Y.-M., Kim, N.-Y., KIM, G.-N., KIM, S.-H., BANG, K.-S., & PARK, I. (2002). Prevention of browning in potato with a heat-treated onion extract. *Bioscience, biotechnology, and biochemistry*, 66(4), 856-858.

Lima, J. R., Elizondo, N. J., & Bohuon, P. (2010). Kinetics of ascorbic acid degradation and colour change in ground cashew apples treated at high temperatures (100–180 C). *International journal of food science & technology*, 45(8), 1724-1731.

Lin, Y., Li, S., Zhu, Y., Bingol, G., Pan, Z., & McHugh, T. H. (2009). Heat and mass transfer modeling of apple slices under simultaneous infrared dry blanching and dehydration process. *Drying Technology*, 27(10), 1051-1059.

Liu, Y., Zhu, W., Luo, L., Li, X., & Yu, H. (2014). A mathematical model for vacuum far-infrared drying of potato slices. *Drying Technology*, 32(2), 180-189.

López, J., Uribe, E., Vega-Gálvez, A., Miranda, M., Vergara, J., Gonzalez, E., & Di Scala, K. (2010). Effect of air temperature on drying kinetics, vitamin C, antioxidant activity, total phenolic content, non-enzymatic browning and firmness of blueberries variety O Neil. *Food and Bioprocess Technology*, 3(5), 772-777.

MacDonald, L., & Schaschke, C. J. (2000). Combined effect of high pressure, temperature and holding time on polyphenoloxidase and peroxidase activity in banana (*Musa acuminata*). *Journal of the Science of Food and*

Agriculture, 80(6), 719-724.
Marfil, P., Santos, E., & Telis, V. (2008). Ascorbic acid degradation kinetics in tomatoes at different drying conditions. *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1642-1647.
Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48(2), 169-175.
Mclaughlin, C., & Magee, T. (1998). The effect of shrinkage during drying of potato spheres and the effect of drying temperature on vitamin C retention. *Food and Bioproducts Processing*, 76(3), 138-142.
Meeso, N., Nathakaranakule, A., Madhiyanon, T., & Soponronnarit, S. (2007). Modelling of far-infrared irradiation in paddy drying process. *Journal of Food Engineering,* 78(4), 1248-1258.
Mrad, N. D., Boudhrioua, N., Kechaou, N., Courtois, F., & Bonazzi, C. (2012). Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears. *Food and Bioproducts Processing*, 90(3), 433-441.
Nowak, D., & Lewicki, P. P. (2004). Infrared drying of apple slices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 5(3), 353-360.
Oey, I., Van der Plancken, I., Van Loey, A., & Hendrickx, M. (2008). Does high pressure processing influence nutritional aspects of plant based food systems*? Trends in Food Science & Technology,* 19(6), 300-308.
Quiles, A., Hernando, I., Pérez-Munuera, I., Larrea, V., Llorca, E., & Lluch, M. (2005). *Polyphenoloxidase* (PPO) activity and osmotic dehydration in Granny Smith apple. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(6), 1017-1020.
Riadh, M. H., Ahmad, S. A. B., Marhaban, M. H., & Soh, A. C. (2015). Infrared heating in food drying: *An overview. Drying Technology,* 33(3), 322-335.
Romani, S., Rocculi, P., Mendoza, F., & Dalla Rosa, M. (2009). Image characterization of potato chip appearance during frying. *Journal of Food Engineering,* 93(4), 487-494.
Sablani, S. S. (2006). Drying of fruits and vegetables: retention of nutritional/functional quality. *Drying Technology*, 24(2), 123-135.
Santos, P., & Silva, M. (2008). Retention of vitamin C in drying processes of fruits and vegetables—*A review. Drying Technology*, 26(12), 1421-1437.
Singh, R., Lund, D., & Buelow, F. (1983). Storage stability of intermediate moisture apples: kinetics of quality change. *Journal of Food Science*, 48(3), 939-944.
Tanaka, F., Verboven, P., Scheerlinck, N., Morita, K., Iwasaki, K., & Nicolai, B. (2007). Investigation of far infrared radiation heating as an alternative technique for surface decontamination of strawberry. J*ournal of Food Engineering,* 79(2), 445-452.
Timoumi, S., Mihoubi, D., & Zagrouba, F. (2007). Shrinkage, vitamin C degradation and aroma losses during infra-red drying of apple slices. LWT - *Food Science and Technology*, 40(9), 1648-1654. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2006.11.008
Uddin, M., Hawlader, M., & Zhou, L. (2001). Kinetics of ascorbic acid degradation in dried kiwifruits during storage. Drying Technology, 19(2), 437-446.
Uddin, M., Hawlader, M., Ding, L., & Mujumdar, A. (2002). Degradation of ascorbic acid in dried guava during storage. *Journal of Food Engineering*, 51(1), 21-26.
Vega-Gálvez, A., Ah-Hen, K., Chacana, M., Vergara, J., Martínez-Monzó, J., García-Segovia, P., Di Scala, K. (2012). Effect of temperature and air velocity on drying kinetics, antioxidant capacity, total phenolic content, colour, texture and microstructure of apple (*var. Granny Smith*) slices. *Food Chemistry*, 132(1), 51-59.
Verbeyst, L., Bogaerts, R., Van der Plancken, I., Hendrickx, M., & Van Loey, A. (2013). Modelling of vitamin C degradation during thermal and high-pressure treatments of red fruit. *Food and Bioprocess Technology*, 6(4), 1015-1023.
Vieira, M. C., Teixeira, A., & Silva, C. (2000). Mathematical modeling of the thermal degradation kinetics of vitamin C in cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) nectar. *Journal of Food Engineering*, 43(1), 1-7.
Vishwanathan, K. H., Giwari, G. K., & Hebbar, H. U. (2013). Infrared assisted dry-blanching and hybrid drying of carrot. Food and Bioproducts Processing, 91(2), 89-94. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.fbp.2012.11.004
Wu, G.-C., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Wang, R. (2010). Effect of calcium ion and microwave power on structural and quality changes in drying of apple slices. *Drying Technology*, 28(4), 517-522.
Zhu, Y., & Pan, Z. (2009). Processing and quality characteristics of apple slices under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with continuous heating. *Journal of Food Engineering*, 90(4), 441-452. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.07.015
Zhu, Y., Pan, Z., McHugh, T. H., & Barrett, D. M. (2010). Processing and quality characteristics of apple slices processed under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with intermittent heating. *Journal of Food Engineering*, 97(1), 8-16.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 14, No. 5, Dec- Jan 2019, p. 789-802

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 14، شماره 5، آذر- دی 1397، ص.802-789

Degradation kinetic of vitamin C (L-ascorbic acid) during simultaneous infrared dry-blanching and dehydration of apple slices with intermittent heating method

H. Sabbaghi[1*], A. M. Ziaiifar[2], M. Kashaninejad[3]

Received: 2017.11.28
Accepted: 2018.01.22

Introduction: L-Ascorbic acid (vitamin C) is the most important vitamin in terms of nutrition. Ascorbic acid is a thermolabile (heat-sensitive) compound that can be degenerated aerobically or anaerobically. The degradation rates of ascorbic acid differ with the changes in environmental conditions such as temperature and water activity. It is ascertained that the other nutrients residing in a food can be preserved in case the Vitamin C content is preserved. Thus, the compound is considered as the nutritional quality index during the food processing. The simultaneous infrared dry-blanching and dehydration (SIRDBD) with intermittent heating method is a novel process in which the temperature is kept constant. Over-blanching causes product quality decline and nutrients, especially vitamins, deterioration. Therefore, the precise process conditions (time and temperature) are specified with the objective of preventing over-processing. To do so, such factors as access to the specific center temperature, access to a certain level of enzymatic inactivation and preservation of a given ratio of Vitamin C should be taken into account. This is subject to the biophysical properties of fruits and slices size and shape. The aim of this study was to determine the appropriate operating conditions for blanching step. For this purpose, the effect of irradiation temperature and thickness of the product on the destruction of polyphenol oxidase (enzymatic browning agent) and vitamin C were investigated.

Materials and methods: Apple slices (*Golden Delicious* variety) were prepared with thickness of 5, 9 and 13 mm and 20 mm in diameter. Irradiation was carried out at three constant temperatures of 70, 75, and 80 ° C. The central temperature of the product was recorded during processing. To evaluate the enzymatic activity of polyphenol oxidase (PPO) and its effect on the product color, apple slices were removed from the device in 2- minute intervals and the process was continued till the time no sign of color change stemming from catechol reagent addition was observable. Vitamin C content measurement was carried out with 30-minute intervals during drying till apple slice reaches constant weight. It was performed based on titration by the use of 2, 6-Dichlorophenol-Indophenol (DCPIP). To calculate the browning index (BI) due to PPO activity, image acquisition was made with the use of a flatbed scanner. The treated samples were placed on the scanner and then a black box was utilized so as to prevent the interferences of the peripheral lights and light reflections. The images featured a 300 dpi quality and were saved in TIFF-24 bit format. Color analysis of the obtained images was carried out in color spaces L*a*b* by the use of “color space convertor” pelagin in ImageJ software, version 1.6.0. Statistical analyses were carried out in SPSS software, version 19. To do so and in order to assess the time required time for the blanching, there was made use of completely randomized design (CRD) in factorial format (3^2) considering two factors, namely thickness (in three levels) and temperature (in three levels). The statistical analyses of the vitamin degradation kinetic constant (k), as well, were conducted based on randomized complete block design (RCBD) in the course of which the

---

1, 2 and 3. Ph. D. Candidate, Associate Professor and Professor, Department of Food Processing Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences & Natural Resources
(*Corresponding Author Email: ziaiifar@gmail.com)

temperature and thickness were considered as the block and the treatment, respectively. Mean comparisons were undertaken based on Duncan test in a 95% confidence level ($P<0.05$). All experiments were performed in three replications.

Results & discussion: The results showed at the beginning of the IR drying process, the temperature increases rapidly and then it comes to a stop with the further passage of time. The temperature curve was reflective of faster variations for a thickness value of 5mm as compared to thicknesses 9mm and 13mm. But, with the increase in the processing temperature to 80°C, the thickness was found having less effect as depicted in the temperature curve and a similar temperature profile was evidenced for the various thicknesses in that temperature. The enzyme inactivation was found increased with the increase in heating time and the time required for blanching was decreased with the increase in temperature. In other words, enzyme inactivation time is significantly lower at 80 °C ($P<0.05$). At sufficient time for blanching, the central temperature for the thickness of 5, 9 and 13 mm was 64.4, 61.7, and 60.8 °C, respectively. By increasing the temperature or thickness, kinetic constant (k) of vitamin degradation increased significantly ($P<0.05$). With increasing the thickness, the temperature rising dependency of vitamin degradation elevated (greater activation energy). Vitamin C content variations were almost similar during the early radiation process for various temperatures. Hence, the high temperature-short time (HTST) approach was considered to be more appropriate for accelerating IR blanching operation. After the exertion of the temperature and time conditions appropriate for the annihilation of polyphenol oxidase, dehydration process can be, if necessary, continued in lower temperatures so as to preserve the nutritional quality of the fruit slices in terms of their Vitamin C content.

Keywords: Vitamin C, Apple, Blanching, Infrared, Polyphenol oxidase